



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Отделение школы (НОЦ) И.Н.Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Экспериментальное исследование условий и характеристик сжигания древесно-угольных композитов.

УДК 662.816:662.61-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Шрайманов Абай Жанасович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Сыродой Семен Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Куликова О.А.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель профиля	Борисов Борис Владимирович	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2019 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) И.Н.Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ73	Шрайманову Абаю Жанасовичу

Тема работы:

Экспериментальные исследования характеристик сжигания древесно – угольных композитов.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 04.02.2019 №837/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является смесевые топлива на основе угля и древесины. Предмет исследования тепломассоперенос смесевых топлив.
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературы – Объект и методы исследования – Описание экспериментальной части – Результаты проведенного исследования – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение – Социальная ответственность <p>Выводы</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Меньшикова Екатерина Валентиновна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Куликова Ольга Александровна</p>
<p>Раздел на иностранном языке</p>	<p>Черемисина Харрер Инна Алексеевна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Сыродой С.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Шрайманов Абай Жанасович		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной
программы магистра по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и
теплотехника»**

Универсальные компетенции

P1 - Использовать представления о методологических основах научного познания и творчества, анализировать, синтезировать и критически оценивать знания

P2 - Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности

P3 - Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации, осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки

P4 - Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития

P5 - Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Профессиональные компетенции

P6 - Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и применения инновационных технологий в теплоэнергетике

P7-Применять глубокие знания в области современных технологий теплоэнергетического производства для постановки и решения задач инженерного анализа, связанных с созданием и эксплуатацией теплотехнического и теплотехнологического оборудования и установок, с использованием системного анализа процессов теплоэнергетики

P8 -Разрабатывать и планировать к разработке технологические процессы, проектировать и использовать новое теплотехнологическое оборудование и теплотехнические установки, в том числе с применением компьютерных и информационных технологий

P9 -Использовать современные достижения науки и передовой технологии в теоретических и экспериментальных научных исследованиях, интерпретировать и представлять их результаты, давать практические рекомендации по внедрению в производство

P10 -Применять методы и средства автоматизированных систем управления производства, обеспечить его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на теплоэнергетическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды

P11 - Готовность к педагогической деятельности в области профессиональной подготовки

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ73	Шрайманову Абаю Жанасовичу

Школа	ИШЭ	Отделение	Теоретическая и промышленная теплоэнергетика
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01. Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	оклад научного сотрудника 33664 руб. оклад магистранта 12664 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 29906,6 руб. Отчисление на социальные нужды 27015,64 руб.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения,	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ

бюджет, риски и организация закупок	
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Разработка инвестиционного плана и оценка рисков.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НТИ 4. Расчёт денежного потока 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Меншикова Е.В.	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Шрайманов А.Ж.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ73	Шрайманову Абаю Жанасобыичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Теоретическая и промышленная теплоэнергетика
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Тепломассообменные установки

Тема ВКР:

Зажигание древесноугольных композитов в условиях, соответствующих камерам сгорания котельных агрегатов.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является композитное топливо на основе угля и мелкодисперсной древесины. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории №18, 4-го учебного корпуса ТПУ. Лаборатория оснащена всеми необходимыми инструментами, а также экспериментальной установкой (муфельная печь).
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Правовая основа по обеспечению охраны труда и безопасности на рабочем месте основывается на Конституцию РФ и состоит из федеральных законов и нормативно правовых актов, таких как; – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) – ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ – ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ

	– - ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– Электромагнитное излучение; – Поражение электрическим током; – Опасность ожога; – Высокая температура изделия; – Химическое воздействие; – Неправильная или недостаточная освещенность рабочего места – Превышение уровня шума.
3. Экологическая безопасность:	Рассмотреть влияние био-водоугольного композита на экологическую обстановку
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Пожар (причиной возникновения пожара может стать нарушение противопожарного режима, ненадлежащее соблюдение профилактических мероприятий, отсутствие первичных средств пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Куликова Ольга Александровна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО		Подпись	Дата
5БМ73	Шрайманов Абай Жанасович			

Реферат

Выпускная квалификационная работа 80 стр., 6 рис., 21 табл., 81 источников, 1 прил.

Ключевые слова: композитное топливо, эксперимент, воспламенение, тепломассоперенос, время задержки зажигания.

Объектом исследования является смесевое топливо на основе угля и мелкодисперсной древесины

Цель работы – экспериментальные и теоретические исследования процессов зажигания и горения, древесно - угольных композитов

В результате исследования было получено зависимость времен задержки зажигания от средних размеров смесевых топлив на основе угля и лесных отходов

Область применения: тепловые электрические станции.

Оглавление

Введение.....	14
Глава 1. Современное состояние сжигания композитного топлива в тепловых электростанциях	18
1.1 Перспективы и недостатки использования композитного топлива на тепловых электростанция	22
1.2 Глобальное потребление топлива и загрязнительные выбросы.....	27
1.3 Выбросы при сгорании угля.....	29
Глава 2. МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	35
СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ УГЛЕЙ И ДРЕВЕСИНЫ.....	35
2.1 Методика приготовления топлива для проведения экспериментального исследования.....	35
2.2. Экспериментальная установка и методика проведения исследования.....	38
3. Глава РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СЖИГАНИЮ КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА.....	42
3.1 Анализ и обсуждение результатов экспериментального исследования.....	42
3.2 Обработка полученных данных.....	44
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения.....	48
4.1. Предпроектный анализ.....	48
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	48
4.1.2. Анализ конкурентных решений.....	48
4.1.3.SWOT-анализ.....	50
4.2. Инициация проекта.....	52
4.2.1. Цели и результаты проекта.....	52
4.2.2. Организационная структура проекта.....	53
4.2.3. Ограничения и допущения проекта	53
4.3. Планирование управления научно-техническим проектом.....	54
4.3.1. План проекта.....	54

4.3.2. Бюджет научного исследования.....	57
4.4. Реестр рисков проекта.....	64
4.3.2.Оценка сравнительной эффективности исследования.....	65
ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	69
Введение.....	69
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	69
5.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	69
5.2 Производственная безопасность.....	71
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	73
5.3 Экологическая безопасность.....	77
5.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду...77	
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	77
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	78
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований.....	78
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	78
Заключение.....	81
Список литературы.....	82
Приложение А.....	90

Введение

В данной диссертационной работе представлены результаты экспериментальных исследований, процессов воспламенения и сгорания композитного топлива на основе отходов деревообработки и угля. Проведены ряд исследований по сжиганию данного композитного топлива выполненных на основе различных углей и биомассы. На примере развитой деревоперерабатывающей промышленности, показано, как много отходов деревообработки (опилки) могут быть эффективно использованы. Изучены основные временные характеристики (время задержки воспламенения и продолжительность горения) сгорания топлива. Древесина может быть повторно использована и конвертирована в энергию. Древесные отходы могут быть эффективно использованы и при сжигании с углем [1 - 2]. Производство тепловой мощности лесопромышленного комплекса с каждым годом увеличиваются в Российской Федерации [3]. Производство целовой древесины сопровождается параллельным увеличением количества древесных отходов в виде опилок, коры, древесной щепы [3], консервация которых представляет угрозу для окружающей среды. В свою очередь, использование древесных отходов в малом производстве электроэнергии малоэффективны из-за получаемой низкой теплотворной способности и применяется редко. Применение данной композиции в виде брикетов приводит к снижению температуры сгорания, уносу пепла, расходу традиционных видов топлива и повышению энергетической эффективности оборудования. В следствии, транспортная составляющая снижается, а использование местного топлива приведет к синергетическому эффекту. При этом можно сказать, что использование экологически «чистого» природного газа в качестве основного топлива тепловыми электрическими станциями экономически невыгодно вследствие необходимости использования его в качестве сырья для химической промышленности. В этих условиях особую актуальность приобретают новые топливные композиции на основе мелко диспергированного угля и биомассы [4-5]. Как правило, в качестве последней

используют древесину или отходы сельского хозяйства (рисовая шелуха, кукурузная солома, пшеничный стебель), и различные бытовые отходы [6-8]. На настоящее время одним из наиболее перспективных, но в тоже время не изученных, видов биомассы является отходы лесопиления. Стоит отметить, что применение в качестве топлива может существенно расширить сырьевую базу тепловых электростанций [9-10]. Применение отходов в топливных смесях может также повысить степень маневренности котельных агрегатов в пиковых режимах работы. Можно обосновано предположить что, древесные отходы в перспективе могут стать относительно дешевым и существенно распространенным на планете возобновляемым энергоносителем. Внедрение последних достижений [11-13] генной инженерии в области энергетической ботаники позволит выращивать энергетические леса. Последние также позволят существенно ускорить цикл утилизации свободного диоксида углерода в атмосфере и снизить парниковый эффект на планете [14-17].

Положительный экономический и экологический синергетический эффект от совместного сжигания угля и древесины в одной топливной смеси создает предпосылки для формирования образа «чистой» тепловой электрической станции будущего, органически вписывающейся в формат экологических парков урбанистики нового поколения [18-21]. Электростанции на основе традиционных топлив, в частности, угля, имеет значительные показатели выбросов вредных веществ в атмосферу. В связи с ежегодным ростом потребления угля(электроэнергии) и значительным ухудшением экологических показателей, приоритетом на сегодняшний день является создания композитного топлива для снижения выбросов в атмосферу на единицу массы потребляемого угля. Описаны преимущества использования композита на основе угля и биомассы(древесины) на электростанциях. До 40–45% всей вырабатываемой в мире электроэнергии происходит за счёт использования традиционного топлива. В них содержатся пять основных вредных веществ, выбрасываемых в окружающую среду [19-21]: частицы золы, оксиды серы (SO_x), оксиды азота (NO_x), оксиды углерода (CO_x)

и водяной пар (H_2O). В настоящее время большое внимание уделяется на разработку технологии экологически чистого и высокоэффективного сжигания твердого органического топлива, уголь, смесь угля и отходов растений, региональное биотопливо и невостребованные сельскохозяйственные и городские отходы. Большое разнообразие видов топлива и малоизученные процессы их термического распада требуют ряда экспериментальных исследований предназначенные для поиска подходящего концентрата топлива для удовлетворения требований к процессу горения. Исследования на испытательных стендах обеспечивают объективную информация о процессах воспламенения, и горения. Каждый из них оказывает негативное воздействие на окружающую среду [22-25]. В частности, дымовые газы могут содержать углероды, диоксид кремния, алюминий, оксиды железа, серу, некоторые органические соединения, и другие химические вещества [22]. Выбросы окисляются атмосферной влагой до производства слабых растворов серной и азотных кислот, которые связаны с кислотными дождями. [23-24]. На данный момент, переход из традиционного топлива, в композитное, может значительно повысить экономические и экологические стороны внешнего мира. Задача этой работы - изучить и вывести оптимальную концентрацию из компонентов древесина-уголь для максимальной эффективности сгорания топлива.

Целью работы является экспериментальное установление основных закономерностей зажигания смесей измельченных угля и древесины, в том числе зависимостей времени задержки зажигания от температуры окружающей среды. В теплоэнергетике возможно использование самых разных видов древесной биомассы, как хвойных, так и лиственных пород. Наиболее перспективно использование отходов лесопереработки, цена которых во многих случаях по существу сводится к стоимости погрузки и транспортировки. Но перспективным для большой группы стран Азии является сжигание древесины в первую очередь лиственных пород, выращиваемых специально как энергоресурс. Можно отметить, что скорость роста последних в несколько раз больше аналогичных характеристик хвойных деревьев, что даёт

основание для обоснованных выводов о целесообразности выращивания, например, липы, эвкалиптов, тополя и других видов энергетической древесины на специальных плантациях для последующего сжигания в топках котельных установок разного назначения. В этой связи актуальной является задача сравнения характеристик зажигания смесей древесины различных пород с углем и оценка эффективности зажигания таких топлив на основе древесины.

Глава 1. Современное состояние сжигания композитного топлива в тепловых электростанциях.

Создание новых топливных композитов в основном обусловлено необходимостью замены основных видов топлив (уголь, мазут и натуральный газ). Десятилетия исследований предоставили основную информацию о характеристиках воспламенения и сгорания разных композиций. Особое направление в развитии технологий комбинированного топлива это создание и исследование композитов с различными добавками. Установлено, [25, 26] что композитное топливо, полученное из угля и древесных отходов, является перспективной недорогой альтернативой традиционному углю и обеспечению хороших экологических параметров. В настоящее время в литературе недостаточно данных о характеристиках воспламенения и сгорания смешанного топлива на основе древесины и биомассы. Исследователи уделяют больше внимания использованию угля в качестве основного компонента [27,28,29]. Довольно часто большие объемы пиломатериалов, деревообработка и нефтяные отходы накапливаются в районах с не имеющими угольных месторождений. Поэтому одной из актуальных задач является рассмотрение композитного топлива на основе деревообработки, отходов и сравнить основные характеристики их сжигания с использованием традиционных энергетических ресурсов. Три основных проблемы в настоящее время доминируют в дискуссии о развитии мирового энергетического сектора. Во-первых, традиционные виды энергетического топлива истощаются довольно быстро, и их диапазон ограничен. Во-вторых, цены на энергоносители были особенно неустойчивы в последнее время. Затяжные экономические и геополитические кризисы существенно тормозят развитие многих регионов и государств. В-третьих, сгорание даже высококачественных энергетических ресурсов с ограниченными запасами вызывают значительные экологические проблемы. Эти вопросы в первую очередь относятся к нефти, газу, и обогащённому углю. Следовательно, потребление угля в мире стремительно растёт, и приближается к потреблению нефти по уровню использования или даже превышает их в некоторых регионах. Мировое производство

энергии в основном обеспечивается на угольных теплоэлектростанциях и котельных [30]. Новые угольные электростанции и котельные появляются каждый год, несмотря на серьезные экологические последствия. Поскольку спрос на энергию увеличивается, угольные теплоэлектростанции и котельные будут только укреплять свои лидирующие позиции в ближайшие десятилетия. В то же время многие европейские страны весьма возражают против эксплуатации старых электростанций и строительству новых. В результате даже правительства таких развитых стран, такие как Германия, Италия и Великобритания, должны пересмотреть их стратегии развития энергетики. В соответствии с Указом Президента РФ от 5 января 2016 года № 5 2017 год объявлен в России годом окружающей среды. Многие государства Европы, Азии и Северной Америки уделяют все свое внимание на экологические аспекты и глобальное потепление. Наибольшая доля выбросов происходят из энергетического сектора, основанного на ископаемом топливе. Основное твердое топливо(уголь) оказывает существенно негативное влияние на окружающую среду на всех этапах производства электроэнергии [31–32]. Добыча угля включает в себя изменение ландшафта, а также формирование карьеров и зоны утилизации. Транспортировка угля ведет к потерям через рассеивание твердых частиц в почве и атмосфере. Над 50% мировых выбросов SO₂, генерируемых в энергетическом секторе, приходится от сжигания угля. Угольные электростанции имеют известное негативное влияние на человечество и окружающую среду. Масса этих отходов составляет десятки миллионов тонн. Годовой прирост таких отходов прямо пропорционален росту добычи угля [32]. Кроме того, низкосортные угли, которые добываются в больших объемах, также должны быть эффективно использованы [32]. В этой связи актуальной является задача сравнения характеристик зажигания смесей древесины различных пород с углем и оценка эффективности зажигания таких топлив на основе древесины [26]. Использование отходов биомассы в составе с традиционным углём в качестве основного топлива исключает затраты на обработку топлива (измельчение) и снижает штрафы за загрязнение окружающей среды отходами переработки угля. Во всех этих вариантах условия нагрева достаточно

существенно отличаются от условий топочных камер паровых и водогрейных котлов, в которых частицы угля и древесины витают в потоке газов, представляющих собой смесь продуктов сгорания топлива и нагретого до высоких температур воздуха. Это разумно выполнить такой анализ для топливных композиций, которые сильно отличаются по стоимости, теплотворной способности и экологические показатели. Это облегчит объективную оценку и развитие современных представлений из [30–31], о положительном экологическом будущем угольных электростанций, если использовать композитное топливо. Использование композитного топлива из мелкодисперсной древесины, и угля имеет большую социальную, экономическую и международную важность. Во-первых, это может помочь устранить огромное количество накопленных древесных отходов во многих регионах в том числе в РФ где промышленные предприятия не в состоянии осуществлять утилизацию отходов на практике. В одной Италии захоронено 60–80% отходов. Соединенные Штаты, ответственны за более чем 30% глобальных отходов (240 миллионов тонн), свалки которого имеют большую подземлей [32]. Ситуация похожая в России, Китае, Индии и в других странах [32–34]. Во-вторых, с участием отходов в секторе производства тепла и электроэнергии расширят сферу энергетики сырья во многих регионах мира, тем самым сохранив твердые и жидкие углеводороды и уменьшит нагрузку на окружающую среду. В-третьих, это повысит пожаро- и взрывобезопасность поставщиков энергии, работающих на угле, поскольку горючие и пожароопасные виды топлива (угольная пыль, газ или топливо нефть) будут заменены на мокрые отходы флотации, угольный шлам и другие виды отходов в составе композитного топлива с более высокими температурами сгорания.

1.1 Перспективы и недостатки использования композитного топлива на тепловых электростанциях

Доля мировых запасов угля в Российской Федерации сегодня составляет 19% и ее применение на ТЭС составляет 26% [35]. Для многих тепловых электростанций уголь импортируется, что приводит в 1,5-2 раза увеличение потребительской стоимости энергоресурсов (в зависимости от региона), тем самым значительно ухудшает экономические характеристики предприятия. Необходимость сокращения доли импортируемых ресурсов в региональном топливно-энергетическом секторе обоснована в энергетической стратегии России на период до 2035 года. Требования этой стратегии предполагают увеличение до 4,5% объемы производства тепловой и электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии. Известно [35] что древесина является возобновляемым источником энергии, если она используется рационально, а ее запасы в России превышают 80 миллиард кубометров. Отходы его переработки превышают 30 миллионов кубометров в год. В то же время, жидкое и твердое топливо для местных тепловых электростанций поставляется в районы с большим потенциалом древесной биомассы. Интерес к энергетическому применению биомассы вызван ужесточением экологических требований и стандартов. Также стоит отметить значительный рост цен на первичные источники энергии. Универсальность и наличие углеродно-нейтрального биоресурса древесины, который не усугубляет процесс глобального потепления, является важным аргументом в пользу применения этого вида топлива во всем мире [36-37]. Уменьшить негативное влияние на окружающую среду продуктов сгорания угля [38], применение экологически более чистого композитное топливо (смесь древесины и угля) считается перспективой для будущего, так как это значительно улучшит экологические и экономические параметры во всем Мире. Проблемой для снижения вредных химических выбросов угольных

электростанций РФ на сегодняшний день остается нерешенной и требуемой ряда исследований для повышения экологических параметров. Разработка современных работоспособных систем золоулавливания требует крупных затрат, что значительно скажется на экономическом бизнесе [37 - 38]. Поэтому поиск альтернативных решений с относительно малыми капитальными затратами, и при этом эффективными по снижению выбросов примесей является главной на сегодня и на будущее задачей. Одним из решения данной поставленной цели является использования композитного топлива на основе угля и различных отходов, в том числе и древесины. При сжигании данного композита, можно наблюдать значительное снижение SO_2 и других вредных химических примесей по сравнению с сжиганием традиционного угля. Степень снижения вредных выбросов ТЭЦ будет зависеть от концентрации основного топлива – угля и используемой древесины. Можно отметить, что рост экономики Китая (в последние 10 лет) обусловлен значительным увеличением потребления угля тепловыми электрическими станциями. Но такое увеличение потребления угля привело к значительному росту негативного антропогенного воздействия ТЭС на окружающую среду. Это вызвало интенсивный рост уровня сердечных и легочных заболеваний в Пекине и Шанхае за последние 10 лет [39, 40]. При этом можно сказать, что использование экологически «чистого» природного газа в качестве основного топлива тепловыми электрическими станциями экономически невыгодно вследствие необходимости использования его в качестве сырья для химической промышленности. В этих условиях особую актуальность приобретают новые топливные композиции на основе мелко диспергированного угля и биомассы

Основными техническими недостатками, связанными с технологией совместного сжигания биомассы и угля, имеют следующие характеристики [40]:

а) необходимость проведения системных экспериментальных исследований по определению энергетических и технических характеристик топлив.

б) Качественная подготовка, условия для хранения, и организация доставки топлива, так как, продукт сам по себе является влажным и гидрофильным, а также нерастворимым;

в) в зависимости от качества сырья сжигание смесевых топлив из угля и древесины может привести в большей или меньшей степени к снижению тепловыделения таких топлив.

Синергетический эффект при сжигании смесевых топлив из углей и древесины заключается в том, что их пиролиз начинается значительно раньше однородного угля. За счет увеличения доли древесины, наблюдается рост выхода летучих веществ и скорость термического разложения таких топлив, также снижается содержание серы и золы. Характеристики топлива и золы играют важную роль в проектировании котлов, поскольку эрозия и коррозия энергетического оборудования должны быть сведены к минимуму. Анализ вышеизложенного позволяет сделать вывод о том, что совместное сжигание смесевых топлив на основе углей разных марок и древесины недостаточно исследовано. Диапазон возможного изменения концентрации древесины для одновременного сжигания не определен, не установлена концентрация древесины в топливе, обеспечивающая максимальное снижение негативного воздействия тепловых электрических станций на окружающую среду. При выборе топлива для повышения экологических показателей использования мелкодисперсной древесины с обогащенным углём на ТЭС, так и методов решения прикладных задач на крупных электростанциях необходима теоретическая основа (база) для выбора

данного композита. Ею может быть общая теория горения смесевых топлив на основе угля и древесины в топках паровых котлов или инженерная методика расчета характеристик этого процесса (температур продуктов сгорания, выхода летучих вредных компонент, коэффициентов полезного действия, расходов угля и др.). На данный момент не изучена общая теория, инженерная методика решения такого рода задач. Причиной данного положения дела по сжиганию такого топлива, скорее всего обусловлена высокой сложностью физико-химических процессов, протекающих при зажигании и горении смесевых топлив на основе угля и древесины. При выборе топлива для повышение экологических показателей использования мелкодисперсной древесины с обогащенным углём на ТЭС, так и методов решения прикладных задач на крупных электростанциях необходима теоретическая основа (база) для выбора данного композита. Ею может быть общая теория горения смесевых топлив на основе угля и древесины в топках паровых котлов или инженерная методика расчета характеристик этого процесса (температур продуктов сгорания, выхода летучих вредных компонент, коэффициентов полезного действия, расходов угля и др.). На данный момент не изучена общая теория, инженерная методика решения такого рода задач. Причиной данного положения дела по сжиганию такого топлива, скорее всего обусловлена высокой сложностью физико-химических процессов, протекающих при зажигании и горении смесевых топлив на основе угля и древесины. Одной из наиболее сложным, для решения такого рода задач, возможно, является синергетическая роль мелкодисперсной древесины при термическом разложении части углей, установления в настоящем диссертационном исследовании. Одной из наиболее сложным, для решения такого рода задач, возможно, является синергетическая роль мелкодисперсной древесины при термическом разложении части углей, установления в настоящем диссертационном исследовании.

1.2 Глобальное потребление топлива и загрязнительные выбросы

На данный момент снижение вредных выбросов угольных тепловых электрических станций в настоящее время является одной из главных задач мировой энергетики [39]. Выбросы загрязняющих веществ (особенно оксидов SO_x , NO_x) способствуют образованию кислотных дождей и разрушению озонового слоя. Методы, используемые при очистке дымовых газов ТЭС, являются, как правило, дорогостоящими и приводят к существенным увеличениям издержек производства тепла и электроэнергии. Основное внимание было уделено снижению вредных выбросов в атмосферу от энергетической, химической и нефтехимической промышленности. В последние десятилетия ведутся активные исследования новых более экологичных топлив по сравнению традиционными [40, 41]. Такие энергоносители в основном – смесевые топлива на основе углей и биомассы. Одним из перспективных топлив такого рода и является смесь углей и мелкодисперсной древесины [42].

Мелкодисперсная древесина представляет собой разновидность биотоплива, сформированного из высокомолекулярных соединений, основными компонентами которой является целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза. В процессе работы деревоперерабатывающих комбинатов образуется много отходов в виде мелкодисперсной древесины [42].

В России [43] и многих других государствах ведутся исследования смесевых топлив (водоугольных [44], органоводоугольных [45], на основе отходов лесопромышленного производства и др.), определенных успехов в последние годы добились в таких странах как Финляндия, Швеция, Китай, Индия, США, Канада.

Наряду с ростом потребления угля, выбросы оксидов серы, азота и углерода значительно растут, и превышают экологические нормы. Источники выбросов CO_2 : выработка электроэнергии 38%; транспортировка 31%; промышленность 14%; жилые и коммерческие секторы 10%; сжигание биомассы 7%. Другим крупным потребителем угля является Индия, которая

занимает пятое место в мире по объему выработки электроэнергии (210 ГВт) [46]. В Индии, как и в Китае, уголь является первичным топливом (55% выработки электроэнергии). При сжигании угля в 503 млн т, выбросы имеют следующие параметры: частицы золы 580 тыс. т; 2100 кт оксиды серы (SO_2); 2000 кт оксиды азота (NO) и 665 млн т оксиды углерода (CO_2). Это сравнение с учетом тип сжигаемого угля (каменный уголь, антрацит, лигнит) и мощность станций (<600 МВт, 600– 800 МВт, > 800 МВт), показывает, что диапазон выбросов составляет 11,1–479 промилле (13,87–598,75 мг / м³). Использование лесных отходов(древесины) с углём, значительно уменьшит эти вредные выбросы в атмосферу, чем при традиционном сжигании угля на электростанциях. Во многих странах электростанции улучшают свои меры по борьбе с загрязнением (например, посредством селективного восстановления) [46]; и развитие так называемых композитных угольных технологии, основанные на эффективном сжигании угля и различных отходов, газоулавливание [47]. Например, сокращение выбросов парниковых газов на 63–82% стало возможным благодаря улавливанию и хранению углерода [47, 48] и улавливанию и использованию углерода [49, 50]. Выбросы значительно снижаются при сжигании угольной пыли в составе с древесными опилками [49, 50] и при интегрированной газификации в замкнутом цикле. Наибольшее сокращение выбросов при сжигании такого топлива, из дымовых газов в газотурбинном цикле является элемент CO_2 [51]. Перспективный метод восстановления атмосферного газа выбросы, без каких-либо дополнительных затрат, является переход от прямого использования угля для приготовления композитного топлива на основе угля и древесины, которые впоследствии сжигаются в печах. Переход к таким растворам улучшает экономику электростанции, разрешая использование низкокачественного топлива или отходов переработки. Полное сгорание данного топлива значительно уменьшает потери обогащенных ресурсов и сводит к минимуму выбросы в атмосферу. Исследования иллюстрируют снижение выбросов SO_x , NO_x в большей или меньшей степени в зависимости от используемой биомассы.

Несмотря на то, что биомасса считается углерод – нейтральным топливом, установлено снижение выбросов и CO_2 .

1.3 Выбросы при сгорании угля

Тепловая и электрическая энергия в мире в основном производится с использованием ископаемого углеводородного топлива. Более 40% мировых электрических энергий вырабатываются на угольных электростанциях [52]. Прогнозирование для мирового производства электроэнергии [53] указывает на то, что потребление угля будет увеличиваться пропорционально увеличению электрической потребляемой мощности. Согласно источникам [54], ежегодное мировое потребление угля составляет около 3,9 млрд тонн нефтяного эквивалента с прогнозируемым ростом производства к 2030 году на 14% [55]. Электроэнергия в основном вырабатывается на крупных угольных электростанциях, которые используют высококачественный уголь с регулируемой величиной тепловой мощности исходного топлива: теплота сгорания, зольность, содержание влаги и т. д. В мире нет добычи топлива с определенными характеристиками (для конкретного типа мощности оборудование) поэтому, в большинстве стран уголь обогащается, классифицируется и отсортировывается. Например, из-за различного обогащения угля, независимо от технологии с высоким содержанием зольных (содержание золы до 50% и более) остатков, содержащие горючие компоненты, которые образуются, и могут быть использованы для дальнейшей переработки или выработки энергии при сжигании. Эти высокозольные и влажные остатки являются фильтром [56]. Существует несколько перспективных направлений переработки таких веществ связанные с преобразованием горючих компонентов в смеси с органическими примесями. В частности, среди них газификация [57, 58], препарат водоугольных и органических водоугольных суспензий [59], а также использование отходов древесины. Это в [58] показано, что отходы переработки угля (“кокса) являются перспективными компоненты для

промышленной газификации при эффективной энергетической поставке. Для объектов малой и средней энергетики (до 40 МВт) с минимизацией затрат на тепловые и электрические производства энергии, наиболее перспективным направлением является развитие и использование древесноугольных топлив (ДУТ) и органических водоугольных суспензий (OCWS) [59, 60]. Несомненные преимущества использования лесных пиломатериалов, приготовленные с углем и его переработанными отходами заключаются в следующем: удовлетворительные экологические показатели, снижение затрат на подготовку и транспортировку топлива, умение строить автоматизированные котлы. Высокие экологические характеристики (ДУТ) из низкосортного угля можно выразить несколькими способами. С одной стороны, при использовании (ДУТ), дымовые газы содержат очень низкое количество оксидов серы и азота [60] по сравнению с сжиганием пылевидного угля. С другой стороны, использование таких примесей в качестве топлива может эффективно решать проблемы, связанные с их хранением, обработкой и утилизацией. Следует также отметить, что по своим параметрам они представляют собой практически готовое углеводородное топливо с оптимальным размером твердых частиц (менее 200 мкм). Кажущийся Преимуществом композитного топлива на основе угля и древесины топлива является возможность его совместного сжигания с различными горючими веществами, в частности, нефтяного происхождения. Этот тренд о создании новых композиций топливной подвески позволяет нам решать вопросы улучшения экологической ситуации как безопасное и экономически эффективное использование таких материалов при производстве тепла и электроэнергии.

Выбросы двуокись углерода (CO₂)

Изначально, двуокись углерода (CO₂) считался продуктом сгорания, а не загрязняющим веществом. Воздействие парниковых газов и проблемы глобального потепления изменили взгляд на углерод. CO₂ оказался основным парниковым газом. Электростанция на угольном ископаемом топливе является основным источником выбросов CO₂. Один МДж подводимого тепла производит 0,1 кг CO₂. Способ устранить CO₂ - это уловить его перед тем, как выбросить в атмосферу. После захвата он должен храниться постоянно или изолироваться. Коммерчески работоспособные системы улавливания и поглощения углерода еще не созданы. До этого времени одним из перспективных возможностей по снижению CO₂ является использования органических, антропогенных, и лесных отходов, а также повышения эффективности электростанции, для снижения потребления угля и снижения выбросов CO₂ на киловатт-час.

Диоксид серы (SO₂)

Это продукт сгорания и зависит от количества серы в угле. Это также называется SO_x. Содержание серы в угле колеблется от 0,1% до 3,5% в зависимости от типа топлива. При сгорании топлива сера соединяется с кислородом с последующим образованием SO₂. Не для кого не секрет что электростанции являются крупнейшими источниками выбросов SO₂. В присутствии других газов SO₂ образует серную кислоту и может выпадать в осадок в виде кислотных дождей, что приводит к разрушению экосистем.

Использование углей с низким содержанием серы является наилучшим способом сокращения выбросов SO₂. Установки десульфурации ниже по потоку от котлов также снижают выбросы. Сжигание угля в кипящем слое является еще одним эффективным методом снижения выбросов SO₂. Использование угля с органическими и лесными отходами значительно уменьшит выбросы SO₂, тем самым значительно улучшит экологические показатели.

Зола

Зола - это остаток после сгорания угольного топлива. Электростанция, работающая на угле, мощностью 500 МВт, сжигающая уголь с содержанием золы около 20%, собирает золу до двух миллионов тонн за пять лет. Цементные заводы могут использовать небольшую часть золы. Утилизация большей части его на долгосрочной основе может вызвать серьезные экологические проблемы. Зола содержит токсичные элементы, которые могут проникать в систему питьевой воды. Ветер, прорыв дамб или разливы пепла могут уносить частицы пепла в окружающие районы, причиняя вред людям и растительности. Учитывая, что срок службы электростанции составляет 20 лет, требуется тщательное предвидение, планирование и обязательство утилизировать золу экологически чистым способом.

Твердые частицы

Электростанции имеют тщательно продуманные меры для сбора золы. Небольшое количество все еще выходит через стопку и классифицируется как эмиссия твердых частиц. Очень высокие стеки на электростанциях рассеивают этот пепел по очень широкой области, снижая уровни концентрации до приемлемых для человека уровней. Частицы размером менее 2,5 микрон, называемые PM 2,5, вызывают серьезную обеспокоенность, поскольку они ответственны за респираторные заболевания у людей.

Оксиды азота (NO_x)

Азот в топливе и в воздухе реагирует с кислородом при высоких температурах с образованием различных оксидов азота, которые в совокупности называются NO_x. Электростанции на ископаемом топливе являются вторым по величине источником выбросов NO_x. Это опасный загрязнитель, создающий проблемы со зрением и дыханием. Также этот элемент в сочетании с водой образует кислотные дожди, смог и наземный озон. Конструктивные изменения в технологии сжигания топлива помогли сократить выбросы NO. В данный

момент на электростанциях используют различные методы, такие как, использования селективных каталитических реакторов, для соответствия нормам выбросов. Таким образом, как с экономической, так и с экологической точки зрения, целесообразно разрабатывать различные композитные топлива для использования их на тепловых электростанциях в странах, которые в основном полагаются на уголь и отходы его переработки в качестве топлива (Китай, Индия, Россия, США и др.). Это очевидно, что активное использование лесных отходов не будет вредным воздействием на окружающую среду. Наоборот, это будет уменьшить объем хранимых отходов и вредных химических выбросов в атмосферу.

Выводы по первой главе

Были рассмотрены различные исследования по сжиганию угля и различных отходов. Идут активные исследования по сжиганию композитного топлива, для их использования в крупных промышленных электростанциях. Внимание сосредоточено на наиболее вредных выбросах, образующихся при сжигании угля. Перспективный метод восстановления атмосферного газа, без каких-либо дополнительных затрат, является перейти от прямого использования угля, на приготовления композитного топлива на основе угля и древесины, которые впоследствии сжигаются в печах. Переход к такому топливному композиту, значительно уменьшит вредные выбросы на окружающую среду.

Глава 2. МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ УГЛЕЙ И ДРЕВЕСИНЫ.

2.1 Методика приготовления топлива для проведения экспериментального исследования

Для приготовления топлива мы использовали древесные опилки различных видов и концентрации. Подготовка смесей угля и древесной пыли для экспериментов (см. табл. 1) проводилась по следующей схеме: на первом этапе крупнокусковой уголь дробился был изначально раздроблен (с характерным размером фракции $\delta \approx 30$ мм), после этого уголь молотся в шаровой мельнице тонкого помола до размеров частиц $\delta \leq 90$ мкм. После этого угольная пыль была перемешана с мелкодисперсной древесиной в лабораторных пробирках. Концентраты были дополнительно взвешены на лабораторных весах. Для более обширного изучения данного топлива (ДУТ), использовались разные виды лесных пиломатериалов. Данный композит был смешан в различных концентрациях в соответствии с заданным массовым соотношением (10% опилок и 90% угля; 20% опилок и 80% угля; 30% опилок и 70% угля; 40% опилок и 60% угля). Так же при проведении данного экспериментального исследования, были изучены характеристики горения ДУТ при различных температурах.

Эти компоненты были выбраны потому, что они типичны для Томской обл. В этом регионе практически нет добычи угля, но производство и лесное хозяйство хорошо развиты. Следует отметить, что такое распределение характерно и для других стран (например, некоторые регионы Норвегии, Китая, Канады и США) [61,62]. Согласно минимальным оценкам, накопленные опилки и древесные материалы составляют более 2812 тонн. Как отходы распиловки древесины, так и другие лесные отходы являются высококалорийными и поэтому данный материал подходит для использования энергии в качестве компонентного топлива. В частности, опилки имеют среднюю теплопроводность 820 МДж / кг.

Номер состава	Уголь	Древесина
------------------	-------	-----------

	Марка	Содержание %	Вид	Содержание %
ДУТ	Д	90		10
	Д	80		20
	Д	70	Сосна	30
	Д	60		40
	Д	90	Бук	10
	Д	80		20
Bio-C №2	Д	70	Лиственница	30
	Д	60		40
	Д	60		40
	Д	70		30
Bio-C №3	Д	80	Берёза	20
	Д	90		10
	Д	70		30
	Д	80		20
	Д	90	Солома	10

Основная гипотеза была принята при планировании экспериментальных исследований: взаимодействия газообразных и твердых продуктов сгорания угля и древесных компонентов с возможностью наблюдения процесса термического разложения и сгорания. Ранее[60], это было установлено при изучении различных специальных гетерогенных материалов (на полимерные [63] и не полимерные [64]) для, того чтобы, при нагреве их до высокой (существенно более высокие температуры для начало термического разложения основного компонента) температуры, наблюдать, не только процессы теплообмена в пористой среде (кокс), образующейся после выхода летучих, обусловленный теплопроводностью, фильтрацией и излучением [65],

а также процессы термохимического взаимодействия между различными продуктами сгорания. Поэтому во время планирования экспериментов при использовании смешанного топлива на основе угля и древесины исследовательские задачи заключались в определении влияния древесного компонента на температурный интервал сгорания смешанного топлива (температура начала и конца процесса термического разложения); анализ влияния соотношения биомассы древесины на выход оксидов азота и серы в продукты полного сгорания смешанного топлива; анализ выхода летучих и твердых продуктов сгорания с изменением соотношения древесного компонента. Экспериментальные исследования, математические модели, связанные с концентрацией оксидов азота и серы в продуктах сгорания с содержанием древесного компонента, в исходной смеси до сих пор не проводились. Поэтому не было объективных предпосылок для применения проведения экспериментальных исследований, с использованием современной теории экспериментального проектирования [66]. Все исследования были выполнены с использованием классического плана многофакторного эксперимента. Для обоснования достоверности полученных результатов, были проведены серия экспериментов для идентичных смесей, в одинаковых условиях. После их завершения среднеквадратичные отклонения(погрешности) были рассчитаны во всем диапазоне изменения значимых факторов.

2.2. Экспериментальная установка и методика проведения исследования

На рис. 1 показана схема экспериментальной установки, используемой для исследований по сжиганию ДУТ. Эксперимент проводился по следующему алгоритму: полая керамическая трубка нагревалась до высоких температур (до 1000 °С); на металлический держатель был помещен композит(ДУТ), впоследствии попадающий в трубку; инициация процесса горения композитного топлива было обусловлено интенсивным радиационно-конвективным нагревом. Определение изменений во времени основных характеристик горения топлива возможно во время регистрирования. С помощью специальной видеокамеры Photron FASTCAM SA1.1 скорость видеосъёмки которой 67500 кадров/с были зафиксированы стадии термической подготовки, а также начало теплового воздействия.

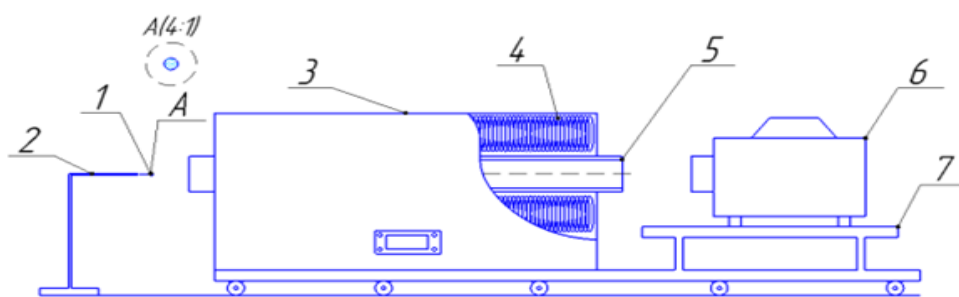


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

1 – ДУТ 2–металлический держатель 3 – электропечь 4 –
нагревательный элемент 5 – керамическая трубка 6 – высокоскоростная
видеокамера 7 – движущая платформа.

Эксперимент проводился в двух разных стендах для определения горения топлива в различных условиях. Второй стенд (на рис 2) представляет собой вертикально расположенный полый керамический цилиндр.

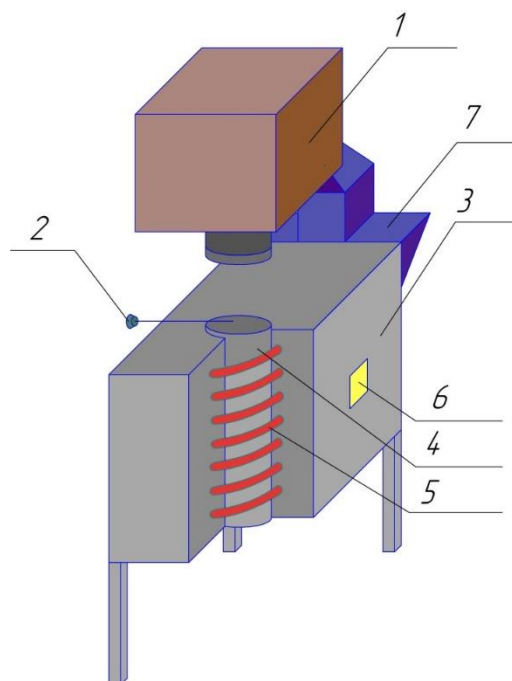


Рисунок 2. - высокоскоростная видеокамера; 2 - распылитель; 3 - печь; 4 - керамический цилиндр; 5 - электрический нагреватель; 6 - термостат, 7 - кронштейн высокоскоростной видеокамеры.

Частицы ДУТ распылялись при помощи пневматического устройства в канал нагретого до высоких температур ($T^{\max}=1273\text{K}$) керамического цилиндра. Регистрация процессов тепломассопереноса и воспламенения топливного композита также регистрировалась с помощью камеры. Температура воздуха внутри цилиндра (T_g) в экспериментах варьировалась в достаточно широком диапазоне (от 873K до 1273K). Период времени от начала теплового воздействия (момент ввода частиц в канал цилиндра) до зажигания (появление пламени) считался временем задержки воспламенения (t_{ign}). Систематическая погрешность определения основных измеряемых параметров (T_g , t_{ign}) составляла не более 3 %. Проводились серии экспериментов не менее чем из 6 опытов при идентичных условиях.

2.3 Обработка и анализ данных.

В ходе работы были определены характеристики воспламенения и сгорания ДУТ. С помощью высокоскоростной камеры наблюдались процессы горения, и полное сгорание топлива, а также регистрировались характеристики по времени. Исходя из полученных данных строилась таблица, по которой впоследствии строился график зависимости температур. Были записаны следующие данные: температура на пушке ($^{\circ}\text{C}$), время задержки и зажигание летучих, номер кадра характеризующий начало теплового воздействия, номер кадра характеризующий начало зажигания летучих. Топливо опускалась в печь при 600, 800, и 1000°C .

Расчёты, по определению характеристик горения топлива по времени представлены ниже:

$$t_{3.3.} = \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{н}}}{f} \quad (2.1)$$

Где, $t_{3.3.}$ – время задержки зажигания, с;

$t_{\text{п}}$ – время начала зажигания, с;

$t_{\text{н}}$ – время начала теплового воздействия, с;

f – частота кадров в секунду.

Выводы по второй главе

1. Рассмотрена методика, позволяющая проводить экспериментальные исследования состава и свойств смесевых топлив на основе угля и древесины, необходимая для оценки возможности их использования в качестве топлив ТЭС.
2. Эксперименты на основе выбранной методики обеспечивают возможность определения основных технических и энергетических характеристик смесевых топлив на основе угля и древесины.

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения.

4.1. Предпроектный анализ

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для выполнения анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Под целевым рынком понимают сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка(топливо). В свою очередь, сегмент рынка – это выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых потребуется определенный товар. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция и др.

Целевым рынком для данной работы является рынок производственных предприятий, тепло и электростанций, использующие традиционное угольное топливо.

4.1.2. Анализ конкурентных решений

Анализ конкурентоспособности композитного топлива на основе угля и древесины позволяет определить наиболее вероятную позицию на рынке. Анализ конкурентных технических решений необходимо проводить с целью внесения коррективов в научное исследование. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны конкурентов.

В данном случае конкурентами могут являться разработки композитного топлива на основе угля и бытовых отходов (K1).

Экспертная оценка основных технических характеристик данной смеси представлена в таблице 1.

Таблица 4 – оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
			Бф	Бк1	Кф	К1
	1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности						
1	Энергоэкономичность	0,05	4	5	0,2	0,25
2	Энергоэффективность	0,07	4	3	0,28	0,21
3	Влияние на окружающую среду	0,05	4	5	0,1	0,25
Экономические критерии оценки эффективности						
1	Конкурентоспособность продукта	0,1	5	2	0,5	0,2
2	Уровень проникновения на рынок	0,05	1	4	0,05	0,2
3	Цена	0,2	4	2	0,4	0,4
4	Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	4	2	0,4	0,18
5	Финансирование научной разработки	0,2	4	4	0,1	0,8
6	Срок выхода на рынок	0,1	2	1	0,1	0,1
6	Итого	1	33	25	2,03	2,79

Применение лесного горючего материала в качестве топлива может существенно расширить сырьевую базу тепловых электростанций. Применение лесных отходов в топливных смесях может также повысить степень маневренности котельных агрегатов в пиковых режимах работы.

Лесной горючий материал в перспективе может стать относительно дешевым и существенно распространенным на планете возобновляемым энергоносителем. Положительный экономический и экологический эффект от совместного сжигания угля и древесины в одной топливной смеси создает

предпосылки для формирования образа «чистой» тепловой электрической станции будущего.

4.1.3.SWOT-анализ

SWOT-анализ – это метод стратегического планирования, который позволяет комплексно проанализировать проект и выявить факторы внешней и внутренней среды, влияющие на него. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие способность проекта к конкурентной борьбе. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть особые ресурсы, являющиеся полезными с точки зрения конкуренции.

Слабые стороны – это факторы, негативно влияющие на способность проекта вести конкурентную борьбу на рынке.

Возможности – это любые возможные ситуации, складывающиеся в условиях окружающей среды, которые, позитивно сказались или скажутся в будущем на конкурентоспособности проекта.

Угроза – это любая возможная нежелательная ситуация, которая негативно скажется на конкурентоспособности проекта.

Матрица SWOT представлена в таблице 5.

Таблица 3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Экономичность и энергоэффективность технологии(топливо). С2. Экологичность технологии по сравнению с традиционным углём.	СЛ1 Большое наличие конкурентов СЛ2 Сложность измельчения до неоднородности, в связи с различными

	С3. низкая стоимость продукта по сравнению с другими горючими материалами.	видами бытовых отходов
Возможности	В3 С3С4. Помощь бюджетирования позволит уменьшить себестоимость производства, в связи с чем, увеличится спрос на продукт. В1С1С2. При помощи инновационной инфраструктура ТПУ можно создавать и реализовывать новые энергоэффективные и экологичные технологии.	В3СЛ5. В случае появления дополнительного спроса на продукт может повлечь за собой увеличение комплектующих материалов, что приведет к увеличению срока поставок.
Угрозы	У2С3. Низкая себестоимость продукта позволит конкурировать на рынке. У4С1С2. Высокие показатели эффективности и экономичности в будущем позволят пройти более жесткие требования государственных ограничений.	У5СЛ4СЛ5.Отсутствие необходимого оборудования и большой срок поставок комплектующих материалов с учетом несвоевременного финансирования негативно повлияет на весь процесс исследования
В1. Сокращения потребление традиционных энергоресурсов. В2. Обеспечение хороших экологических параметров. В3.Широкий спектр применения.		
У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция. У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.		

4.2. Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

4.2.1. Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам приведена в таблице 6:

Таблица 6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Государство	Сокращения расхода потребления угля, и повышения экологических параметров.
Предприятие	Уменьшение антропогенных выбросов, утилизация бытовых отходов.
ТПУ	Увеличение разработок, повышающих статус вуза.

Цели и результат проекта представлены в таблице 7

Таблица 7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Экспериментальное исследование характеристик зажигания дрeв. – уголь. топлива
Ожидаемые результаты проекта:	изучить и вывести оптимальную концентрацию из компонентов древесины-уголь для максимальной эффективности сгорания топлива.
Критерии приемки результата проекта:	Предоставление методики выполнения исследований, полнота и объективность данных, структурированное изложение результатов проекта.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Положительные результаты для использования данного топлива в соответствующих предприятиях.

4.2.2. Организационная структура проекта

На этапе организационной структуры работы проекта решались следующие вопросы: определить, кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Данная информация представлена в таблице 5

Таблица 8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Сыродой Семён Владимирович к.т.н., научный сотрудник	Руководитель	Координация деятельности проекта	24
2	Шрайманов Абай Жанасович, НИ ТПУ, отделение ИШЭ, магистрант	Исполнитель	Выполнение работ по проекту	540

4.2.3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 8).

Таблица 9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1.2.3.1 Бюджет проекта	365000 рублей
1.2.3.1.1 Источник финансирования	НИ ТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	01.01.2018 – 31.05.2019
1.2.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	12.12.2018
1.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2019

4.3. Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

4.3.1. План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представляется в виде таблицы (табл. 7).

Таблица 10 – Календарный план проекта в рабочих днях

Код работ ы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1.1	Разработка технич. задания	4	1.02.19	5.02.19	Сыродой С.В.
2.1	Подбор и изучение материалов по теме	20	6.02.19	3.03.19	Шрайманов А.Ж.
1.2	Выбор напр. исследования	2	4.03.19	6.03.19	Сыродой С.В., Шрайманов А.Ж.
1.3	Календарное планирование работ	2	7.03.19	10.03.19	Сыродой С.В., Шрайманов А.Ж.
2.2	Проведение теоретических расчетов и обоснований	11	11.03.19	23.03.19	Шрайманов А.Ж.
2.3	Проведение экспериментов	41	24.03.19	13.05.19	Шрайманов А.Ж.
3.1	Оценка и обсуждение результатов	4	14.05.19	17.05.19	Сыродой С.В., Шрайманов А.Ж.
3.2	Оформление отчета	10	18.05.19	31.05.19	Шрайманов А.Ж.
И т о г о:		94			

Таблица 11. – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1.1	Разработка технич. Задания	Руководитель	3	■													
2.1	Подбор и изучение материалов по теме	Магистрант	20														
1.2	Выбор напр. исследования	Руководитель, магистрант	5				■										
1.3	Календарное планирование работ	Руководитель, магистрант	3				■										
2.2	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Магистрант, эксперт	11														
2.3	Проведение экспериментов	Магистрант	38														
3.1	Оценка и обсуждение результатов	Руководитель, магистрант	4												■		
3.2	Оформление отчета	Магистрант	12														

■ – руководитель; ■ – магистрант

4.3.2. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

Таблица 12 – Материальные затраты на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Материальные затраты	Ед. изм.	Объем потребления	Тариф, руб/ед.	Итого, руб.
Электроэнергия: – освещение	кол.часов. работы х потреб.мощн.	350ч. х 100 Вт = 35 кВт·ч	5.8 кВт/ч	203
Кухонные весы Аксион ВКЕ-21	шт	768,8 гр	570	570
Бумага белая формата А4	упаковка, шт	-	350	350
Итого:				1123 руб.

Стоимость экспериментальной установки

Задачи проекта решаются на базе оборудования, находящегося в 4 корпусе НИ ТПУ. Главным объектом развития и оптимизации технологии является экспериментальная установка, состоящая из нескольких основных ступеней:

1. Высокотемпературная печь НОВАТЕРН
2. Дополнительные детали
3. Координатное устройство
4. Объектив Nikon Nikkor AF 80-200mm F/4.5-5.6 D ED VR

5. Вытяжная вентиляция

6. Компьютер

Таблица. 13 - Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

№ п/п	Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт
2	Дополнительные детали	10000	-
3	Координатное устройство	19000	1
5	Вытяжная вентиляция	36000	1
6	Компьютер	25000	1
Итого		90000	

Вследствие того, что стоимость на печь и объектив камеры выше 40 тыс.руб., то нужно посчитать амортизацию.

Учитывая тот факт, что объектив камеры и печь работали всегда одновременно, то амортизация рассчитывается как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} * C_{\text{кт}} * \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{руб/год}, \quad (2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ – время использования высокотемпературной печи;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время;

$C_{\text{кт}}$ – цена оборудования;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы установки.

$$K_{\text{ам}} = \frac{94}{365} * 80000 * \frac{1}{5} = 4120,6 \text{ руб/год},$$

$$K_{\text{ам}} = \frac{94}{365} * 45000 * \frac{1}{5} = 2317,8 \text{ руб/год}$$

Таблица 14 – Амортизационные затраты

№ п/п	Наименование	Стоимость, руб	Количество
1	Высокотемпературная печь НОВАТЕРН	4120,6	1
2	Объектив Nikon Nikkor AF 80-200mm F/4.5-5.6 D ED VR	2317,8	1
Итого		6438,4	

Общая стоимость на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ составляет 96438,4 руб.

Основная заработная плата

В данной НИР включается основная заработная плата научного руководителя и студента магистранта. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется «Положением об оплате труда»). Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.2)$$

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.3)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дп}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{43764,32 \cdot 10,4}{251} = 1813,34$$

$$Z_{\text{дп}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{16\,463,2 \cdot 10,4}{251} = 682 \quad (4.4)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 11).

Месячный должностной оклад работника вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.5)$$

где Z_6 – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент:

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томск).

На настоящем этапе сформирована команда из ключевых специалистов во главе с руководителем, имеющим опыт реализации подобных проектов. Расчёт стоимости их услуг представлен в таблице ниже:

Таблица 15– Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Расчёт основной заработной платы исполнителей системы выбирается на основе системы оплаты труда в ТПУ (для руководителя). Для исполнителя (магистра) предусматривается расчёт оплаты труда исходя из системы оплаты труда предприятия.

Таблица 16 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс},$ руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$Z_m,$ Руб	$Z_{дн},$ руб.	$T_p,$ раб. дн.	$Z_{осн},$ руб.
-------------	-------------------	----------	-------	-------	---------------	-------------------	-----------------------	--------------------

Руководитель	33664,86	-	-	1,3	43764,32	1813,34	4	7253,36
Магистрант	12664	-	-	1,3	16463,2	682	90	61380

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (4.6)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 13 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 17 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Научный руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	7253,36	61380
Дополнительная зарплата,	725,34	6138
Зарплата исполнителя	7978,7	67518
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	75496,7	

Отчисления на социальные нужды включают в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.7)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) равен 27,1%.

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (68633,36 + 6863,34) = 20459,6 \text{ руб}$$

Таблица 18 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель по категориям	Зар.плата,руб.	Отчисления, руб.
Руководитель	7253,36	1965,7
Магистрант	61380	16633,98
Итого:	68633,36	18599,7

Накладные расходы

Накладные расходы состоят из затрат на управление и хозяйственное обслуживание. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.8)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов 30%.

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (68633,36 + 6863,34) = 22649 \text{ руб.}$$

№	Статьи						
	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Дополнительная заработная плата	Итого плановая себестоимость

1	1123	96438,4	68633,36	22649	20459,6	6863,34	216166,7
---	------	---------	----------	-------	---------	---------	-----------------

Таблица 18– Бюджет затрат НТИ

4.4. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (табл. 16).

Таблица 19 – Реестр риска проекта

№	Риск	Потенци- альное воздействи е	Вероят ность наступ ления (1-5)	Влиян ие риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступлени я
1	Экономичес кий кризис	Отсутстви е бюджетног о финансиро вания	2	2	Низкий	Прогнозиро вание экономичес кой ситуации	Непредвиде нная экономичес кая остановка
2	Невостребо ванность исследован ий	Нет развития	2	5	Средний	Популяриза ция данного исследован ия	Незаинтере сованность потребител ей

4.3.2. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (4.9)$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (4.10)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	4	3
2. Влияние на окружающую среду	0,25	4	2
3. Энергосбережение	0,3	5	3
4. Надежность	0,25	4	4
ИТОГО	1	26	19

$$I_T^p = 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,25 = 4,3$$

$$I_{T1}^a = 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,25 = 3$$

$$I_\Phi^p = \frac{\Phi_i^p}{\Phi_{\max}} = \frac{80000}{216166,7} = 0,37; I_\Phi^a = \frac{\Phi_i^a}{\Phi_{\max}} = \frac{40000}{216166,7} = 0,19$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_T^p}{I_\Phi^p} = \frac{4,3}{0,37} = 11,6; \quad I_{финр}^a = \frac{I_T^a}{I_\Phi^a} = \frac{3}{0,19} = 15,8$$

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} = \frac{11,6}{15,8} = 0,73$$

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,19	0,37
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	15,8	11,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,73	

Заключение

Несмотря на достаточно высокие затраты для реализации данного проекта, создание экспериментальной базы является целесообразной задачей. Процессы зажигания композита в высокотемпературную газовую среду мало изучены и, следовательно, будут являться довольно востребованными т.к. на сегодняшний день этот композит актуален тем что это уменьшит вредные выбросы, и хорошо повлияет на экологический показатель. Так же этот композит выгоден с экономической части. Также будет изучены характеристики зажигания, тем самым будет произведена оценка надежности работ энергетических газовых турбин.

Заключение

1. Рассмотрена методика, позволяющая проводить экспериментальные исследования по сжиганию смесевых топлив на основе угля и древесины.
2. Рассмотрена возможность по применению смесевых топлив из угля и мелкодисперсной древесины для сжигания в топках котельных установок тепловых электрических станций.
3. Были обоснованы сильные и слабые стороны по использованию данного топлива в промышленных предприятиях.
4. Результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность сжигания смесевых топлив на основе углей и древесины при соотношениях компонент от 10 % / 90 % до 50 % / 50 %.

Список литературы

1. .K. Shen, S. Gu, K.H. Luo, A.V. Bridgwater, M.X. Fang, Kinetic study on thermal decomposition of woods in oxidative environment, *Fuel* 88 (2009) 1024.
2. Н. Haykiri-Acma, S. Yaman, Combinations of synergistic interactions and additive behavior during the co-oxidation of chars from lignite and biomass, *Fuel Processing Technology* 89 (2008) 176.
3. Doklad o povishenii effektivnosti lesnogo kompleksa [Report on improving the effectiveness of timber complex], 138 (2013)
4. Исламова С.И., Вачагина Е.К. Исследование эффективности преобразования энергии при термической утилизации древесной биомассы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2015. - № 9-10. - С.3-11.
5. Parikka M. Global biomass fuel resource// *J. Biomass and Bioeng.* 2004. V. 27. P. 613-620
6. Keng-Hao Chang, Kuo-Ren Lou, Chun-Han Ko. Potential of bioenergy production from biomass wastes of rice paddies and forest sectors in Taiwan. *Journal of Cleaner Production* 206 (2019) 460e476
7. Kifayat Ullaha, Vinod Kumar Sharma, Mushtaq Ahmad, Pengmei Lv, Jurgen Krahл, Zhongming Wang, Sofia. The insight views of advanced technologies and its application in bio-origin fuel synthesis from lignocellulose biomasses waste, a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (2018) 3992–4008.
8. Alberto-Jesús Perea-Moreno, Miguel-Angel Perea-Moreno, Quetzalcoatl Hernandez-Escobedo, Francisco Manzano-Agugliaro. Towards forest sustainability in Mediterranean countries using biomass as fuel for heating. *Journal of Cleaner Production* 156 (2017) 624e634.
9. Tamíris Pacheco da Costa, Paula Quinteiro, Luís Antonio da Cruz Tarelho, Luís Arroja, Ana Claudia Dias. Environmental impacts of forest biomass-to-energy conversion technologies: Grate furnace vs. fluidised bed furnace. *Journal of Cleaner Production* 171 (2018) 153e162
10. Inge Stupak, Brenna Lattimore b , Brian D. Titus c , C. Tattersall SmithCriteria and indicators for sustainable forest fuel production and harvesting: A review of

current standards for sustainable forest management biomass and bioenergy 35
(2011) 3287 e3308

11. Graeme Mitchison. Conformal growth of Arabidopsis leaves Journal of Theoretical Biology 408 (2016) 155–166
12. Alvydas Šimkūnas , Sandra Valaškaitė, Vitalij Denisov. Comparative systemic analysis of the cellular growth of leaves and roots in controlled conditions Journal of Plant Physiology 220 (2018) 128–135.
13. JIANG Rui, WANG Tong-tong, SHAO Jin³ , GUO Sheng¹ , ZHU Wei¹ , YU Ya-jun⁴ , CHEN Shao-lin² , HATANO Ryusuke Modeling the biomass of energy crops: Descriptions, strengths and prospective. Journal of Integrative Agriculture 2017, 16(6): 1197–1210.
14. Trends in Biotechnology Volume 36, Issue 9, September 2018, Pages 882-897
15. J.W.Akitt Some observations on the greenhouse effect at the Earth's surface, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy Volume 188, 5 January 2018, Pages 127-134
16. P.D.Jones, Greenhouse Effect and Climate Data, Encyclopedia of Physical Science and Technology, 2003, Pages 87-106
17. Igor Lapenda Wiesberg, George Victor Brigagão, José Luiz de Medeiros, Ofélia de Queiroz Fernandes Araújo. Carbon dioxide utilization in a microalga-based biorefinery: Efficiency of carbon removal and economic performance under carbon taxation. Journal of Environmental Management Volume 203, Part 3, 1 December 2017, Pages 988-998
18. Dmitrii O. Glushkov, Geniy V. Kuznetsov, Diana A. Chebochakova, Olga E. Lyakhovskaya, Nikita E. Shlegel, Igor S. Anufriev, Evgeniy Yu. Shadrin . Experimental study of coal dust ignition characteristics at oil-free start-up of coal-fired boilers Applied Thermal Engineering Volume 142, September 2018, Pages 371-379
19. Guttikunda, S.K. and Jawahar, P., Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India, Atmos. Environ., 2014, vol. 92, pp. 449–460.

20. Tian, H., Wang, Y., Xue, Z., et al., Atmospheric emissions estimation of Hg, As, and Se from coal-fired power plants in China, 2007, *Sci. Total Environ.*, 2011, vol. 409, no. 16, pp. 309–319.
21. Chen, W. and Xu, R., Clean coal technology development in China, *Energy Policy*, 2010, vol. 38, no. 5, pp. 2123–2130.
22. Tailasheva, T.S., Krasil'nikova, L.G., and Vorontsova, E.S., Evaluation of harmful atmospheric emissions from the boiler houses of Tomsk oblast, *Izv. Tomsk. Politekh. Univ.*, 2013, vol. 322, no. 4, pp. 52–55.
23. Singh, S., Elumalai, S.P., and Pal, A.K., Rain pH estimation based on the particulate matter pollutants and wet deposition study, *Sci. Total Environ.*, 2016, vol. 563, pp. 293–301.
24. Ge, B., Wang, Z., Gbaguidi, A.E., and Zhang, Q., Source identification of acid rain arising over northeast china: observed evidence and model simulation, *Aerosol Air Qual. Res.*, 2016, vol. 16, no. 6, pp. 1366–1377.
25. Stanhill, G., Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences, *Agric. For. Meteorol.*, 2001, vol. 107, no. 4, pp. 155–278.
26. Gvozdyakov D, Gubin V, Shvab S, Tanishev A 2016 MATEC Web Conf. 72 01037.
27. Communication from the Commission to the European council and the European parliament: an energy policy for Europe, {SEC(2007) 12}, COM(2007) 1 final, Brussels, 10.1.2007. <http://eurlex.europa.eu>
28. Commission of the European Communities: Biomass action plan, {SEC(2005) 1573}, COM (2005) 628 final, Brussels, 7.12. 2005.
29. The European Bioenergy Networks (EUBIONET): Biomass co-firing – an efficient way to reduce greenhouse gas emissions. <http://ec.europa.eu>.
30. Dr. Fatih Birol 2017 Key World energy statistics International Energy Agency (IEA)

31. Li S, Xu T, Sun P, Zhou Q, Tan H, Hui S. NO_x and SO_x emissions of a high sulfur selfretentioncoal during air-staged combustion. *Fuel* 2008;87:723–31.
32. International Energy Agency. Energy and air pollution. *World Energy Outlook Special Report*; 2016.<<https://www.iea.org>>.
32. Hampf B, Rodseth KL. Carbon dioxide emission standards for U.S. power plants: an efficiency analysis perspective. *Energy Econ* 2015;50:140–53.
33. Li D, Wu D, Xu F, Lai J, Shao L. Literature overview of Chinese research in the field of better coal utilization. *J Cleaner Prod* 2018;185:959–80.
34. Dmitrienko MA, Strizhak PA. Environmentally and economically efficient utilization of coal processing waste. *Sci Total Environ* 2017;598:21–7.
35. Nyashina GS, Legros JC, Strizhak PA. Environmental potential of using coal-processing waste as the primary and secondary fuel for energy providers. *Energies* 2017;10(3):405.
36. Dmitrienko MA, Nyashina GS, Strizhak PA. Environmental indicators of the combustion of prospective coal water slurry containing petrochemicals. *J Hazard Mater* 2017;338:148–59.
37. Magdziarz A, Wilk M. Thermogravimetric study of biomass, sewage sludge and coal combustion. *Energy Convers Manage* 2013;75:425–30.
38. Alessandro Franco, Ana R. Diaz The future challenges for “clean coal technologies”: Joining efficiency increase and pollutant emission control.
39. Dipartimento d’Energetica “L. Poggi”, Università di Pisa, Via Diotisalvi 2, 56126 Pisa, Italy Received 13 January 2008, Available online 17 November 2008, Volume 34, Issue 3, March 2009, Pages 348–354.
40. Kuznetsov, G.V., Salomatov, V.V., and Syrodoy, S.V. 2015. Numerical simulation of ignition of particles of a coal–water fuel, *Combustion, Explosion and Shock Waves*, 51, pp. 409–415.
41. Strakhov, V.L., Garashchenko, A.N., Kuznetsov, G.V., and Rudzinskii, V.P. 2001. Mathematical simulation of thermophysical and thermochemical processes during

- combustion of intumescent fire-protective coatings, *Combust. Explos. Shock Waves*, 37, pp. 178–186
42. Kuznetsov, G.V., Salomatov, V.V., and Syrodoy, S.V. 2015. Numerical simulation of ignition of particles of a coal–water fuel, *Combustion, Explosion and Shock Waves*, 51, pp. 409–415.
43. Taniguchi, M., Yamamoto, K., Kobayashi, H., and Kiyama, K. 2002. A reduced NO_x reaction model for pulverized coal combustion under fuel-rich conditions. *Fuel*, 81, pp. 363–371.
44. K. Yu. Vershinina, R.I. Egorov, P.A. Strizhak, The ignition parameters of the coal-water slurry droplets at the different methods of injection into the hot oxidant flow, *Appl. Therm. Eng.* 107 (2016) 10–20.
45. G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, Coagulation and splitting of droplets of coalwater slurry containing petrochemicals and their effect on ignition characteristics, *Appl. Therm. Eng.* 116 (2017) 266–277.
46. D.O. Glushkov, P.A. Strizhak, M.Yu. Chernetskii, Organic coal-water fuel: problems and advances (review), *Therm. Eng.* 63 (2016) 707–717.
47. X. Zeng, S. Zheng, H. Zhou, Q. Fang, C. Lou, Char burnout characteristics of five coals below and above ash flow temperature: TG, SEM, and EDS analysis, *Appl. Therm. Eng.* 103 (2016) 1156–1163.
48. A. Zbogor, F. Frandsen, P.A. Jensen, P. Glarborg, Shedding of ash deposits, *Prog. Energy Combust. Sci.* 35 (2009) 31–56.
49. Ulloa, C.A., Gordon, A.L., and García, X.A. 2009. Thermogravimetric study of interactions in the pyrolysis of blends of coal with radiata pine sawdust, *Fuel . Process. Technol.*, 90, pp. 583–590 doi:[10.1016/j.fuproc.2008.12.015](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.12.015)
50. Wannapeera, J., Fungtammasan, B., and Worasuwanarak, N. 2011. Effects of temperature and holding time during torrefaction on the pyrolysis behaviors of woody biomass, *J. Anal. Appl. Pyrol.* 92, pp. 92–105 doi:[10.1016/j.jaap.2011.04.010](https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.04.010)
51. Yankovsky, S.A. 2016 Research of wood waste concentration influence on composite fuel energy characteristics based on low-grade 2b coal from “borodinskoe” deposit, *Matec. Web. Confer*, 92, 01036 doi:[10.1051/mateconf/20179201036](https://doi.org/10.1051/mateconf/20179201036)

52. Yu, P.L. **1985**. Multiple Criteria Decision Making: Concepts, Techniques, and Extensions, New York, Plenum Press.
53. Zakaria, Z. **2010**. Thermal decomposition study of coals, rice husk, rice husk char and their blends during pyrolysis and combustion via thermogravimetric analysis. *Int. J. Chem Technol.* 2, pp. 78– 87 doi: 10.3923/ijct.2010.78.87.
54. Zhao, B., Su, Y., Liu, D., Zhang, H., Liu, W., and Cui, G. **2016**. SO₂/NO_x emissions and ash formation from algae biomass combustion: process characteristics and mechanisms, *Energy*, 113, pp. 821–830
55. Zhao, P., Shen, Y., Ge, S., Chen, Z., and Yoshikawa, K. **2014**. Clean solid biofuel production from high moisture content waste biomass employing hydrothermal treatment, *Appl. Energy* 131, pp. 345–367 doi:10.1016/j.apenergy.2014.06.038
56. Dolgushin I A 2014 Research and development of TPP cycle with CFB boiler for efficiency increase and environmental specifications improvement PhD diss.: 05.14.14 Moscow.
57. Feduhin A.V. 2014 Development of combined production of heat power and electricity based on the research of biomass pyrolysis and gasification processes PhD diss.: 05.14.14 Moscow.
58. Islamova S I, Vachagina E K 2015 *Izvestiya visshih uchebnih zavedeniy. Problemy energetiki* **9-10** 3-11.
59. Gvozdyakov D, Gubin V, Shvab S, Tanishev A 2016 *MATEC Web Conf.* **72** 01037.
60. Slyusarsky K V, Larionov K B Osipov V I, Yankovsky S A, Gubin V E, Gromov A A 2017 *Fuel* **191** 383-392.
61. Korotkikh A G, Slyusarskiy K V, Larionov K B, Osipov V I 2016 *J. Phys. Conf. Ser.* **754** 052005.
62. L. Jianzhong, W. Ruikun, X. Jianfei, Z. Junhu, C. Kefa, Pilot-scale investigation on slurring, combustion, and slagging characteristics of coal slurry fuel prepared using industrial wasteliquid, *Appl Energy* 115 (2014) 309–319.
63. H. Wang, X. Jiang, M. Zhang, Y. Ma, H. Liu, S. Wu, A new fluidization–suspension combustion technology for coal water slurry, *Chem Eng Process* 49 (10) (2010) 1017–1024.

64. G. Atesok, F. Boylu, A.A. Sirkeci, H. Dincer, The effect of coal properties on the viscosity of coal–water slurries, Fuel 81 (14) (2002) 1855–1858.
65. Телегин А. С., Лебедев А. Н. Конструкция и расчет нагревательных устройств. - М.,: Машиностроение, 2012.
66. Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г., Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. – М.: Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
67. Исламов М.Ш. Печи химической промышленности. 2-е изд., пер. и доп. - М.: Химия, 2014. - 432 с
68. <http://portal.tpu.ru/departments/otdel/ontp/spr>
69. Приказ ФАС России от 18.12.2018 № 1264/15 «Об утверждении цен (тарифов) на электрическую энергию (мощность),
70. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
71. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов и безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
72. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
73. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
74. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
75. ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования
76. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
77. ГОСТ 12.1.007-2015 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
78. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

79. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий"
80. СП 52.13330.2016 *Естественное и искусственное освещение.*
Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
81. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

Приложение А

Раздел 7

Ignition of charcoal composites in conditions corresponding to the combustion chambers of boiler units

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Шрайманов Абай Жанасович		

Консультант школы отделения (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Сыродой С.В.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черемисина Харрер И.А.	к.ф.н., доцент		

2 Ignition of charcoal composites in conditions corresponding to the combustion chambers of boiler units.

Numerous attempts to develop coal combustion technologies with addition (as a rule, within 10–15%) of biomass of various origins (most often crushed wood) in furnaces of different boilers are well known [1], but according to the results of various design and development works at more than 230 thermal power plants of the countries located in Europe, America, and Asia, only at 17 stations (as of 2015) such technologies were implemented [2]. Most likely, not the most ambitious result is a consequence of objective reasons, the main of which – judging from the data [3] – is the ambiguity of the interaction processes between combustion products of coals and biomass. This ambiguity appears in the fact that not all grounded coals steadily burn with different types of dispersed biomass, and a positive effect of their co-combustion is achieved not with all combinations of component ratios in the coal biomass system – a significant reduction of nitrogen and sulfur oxides content and fly ash in the combustion products of such mixed fuels. The known experimental studies' results of the thermal decomposition and combustion processes of grounded coal and biomass mixtures[4] are insufficient for conclusions about the mechanism of suppression (or non-suppression) of nitrogen and sulfur oxides, for example, when such mixtures are burned. Experiments are required with registration of the complex characteristics of thermochemical processes occurring during thermal decomposition and subsequent combustion of a mixture of fine coals and biomass. Indisputable interest in this regard is represented by wood, as the most typical and promising type of biomass for thermal power engineering, as well as brown coals, not only widely used at present. It is known that reserves of brown coals on the planet are very large (Coal Information: Overview 2017) (as well as wood, which is a sustainably renewable raw material in many regions of the planet). The purpose of this work is to experimentally study the main regularities of joint thermal decomposition processes of grounded brown coals and dispersed wood mixtures with determination of process characteristics sufficient to form a hypothesis on the mechanism of nitrogen and sulfur oxides

sequestration at combustion conditions of such mixed fuels. The basic hypothesis was assumed during the planning of experimental studies: interaction of gaseous and solid combustion products of coal and wood components in the process of thermal decomposition and combustion is possible. Earlier and non-polymeric bases, that when they are heated to high (substantially higher temperatures for the beginning of thermal decomposition of the base component) temperatures, there are not only heat transfer processes in the porous medium (coke) produced after volatiles yield, resulting from thermal conductivity, filtration, and radiation but also the processes of thermochemical interaction between different gaseous combustion products, as well as between the latter and carbon of coke [2]. Therefore, during planning experiments with mixed fuels based on coal and wood, the research tasks were to determine the influence of the wood component on the temperature range of mixed fuel combustion (the temperature of the beginning and end of the thermal decomposition process); analysis of the influence of wood biomass ratio on the yield of nitrogen and sulfur oxides in the products of complete combustion of mixed fuels; analysis of the yield of volatile and solid combustion products with a change in the ratio of the wood component. Since no such experimental studies have been conducted so far, there are no mathematical models linking the concentration of nitrogen and sulfur oxides in the products of combustion with the content of the wood component in the initial mixture. Therefore, there were no objective prerequisites for application during conducting experimental studies of modern theory of experimental design [5]. All studies were performed using the classical plan of a multifactor experiment. To substantiate the reliability of the measurement results, at least three experiments were conducted for identical mixtures under identical conditions. After their completion, the root-mean-square deviations of the values were calculated, which in the entire range of variation of the significant factors did not exceed (in relative variables) 3–4%.

Production capacity of timber industry increases every year in Russian Federation [6]. Results of quality products production are accompanied by a parallel increase in the amount of wood waste in the form of sawdust, bark, wood chips and veneer shorts [6], conservation

of which poses a threat to the environment [6]. In turn, the use of wood waste in small-scale power generation is not highly relevant because of the resulting materials low calorific value and applied rarely. The process of concentration influence of one fuel or another in a mixed composition on calorific value, ash content, volatile substances release and combustion kinetics is poorly researched. Application of this composition in the form of briquettes leads to a decrease of the combustion temperature, ash entrainment, consumption of traditional fuels in decentralized areas and an increase of energy equipment efficiency. As a result, transportation component is reduced, and the use of local fuel will lead to synergistic effect.

The share of the world coal reserves in the Russian Federation today is 19% and its application at Thermal Power Plants (TPP) is 26% [7]. For many thermal power plants coal is imported, which leads to a 1.5-2 times increase in consumer cost of energy resources (depending on the region). The necessity of reducing the share of imported resources in regional fuel and energy sector is justified in Energy Strategy of Russia for the period until 2035. Requirements of this strategy imply an up to 4.5% increase of production volumes of thermal and electric energy using renewable energy sources. It is known [7] that wood is a renewable source of energy, if rationally used, and its reserves in Russia exceed 80 billion cubic meters. Wastes of its processing exceed 30 million cubic meters per year. At the same time, liquid and solid fuels for local thermal power plants are supplied to areas with a large potential of wood biomass. Interest in power engineering application of biomass is caused by stricter environmental requirements and standards and rising prices of primary energy sources. Versatility and availability of carbon-neutral wood bio-resource that does not aggravate global warming process is an important argument in favor of this fuel type application throughout the world [8-9]. To reduce negative impact on the environment of coal combustion products [10], application of environmentally cleaner composite fuels (mixture of wood and coal) is considered to be promising [11]. Carbon fuel combustion produces fly ash, sulfur and sulfuric anhydrides, nitrogen and sulfur oxides, as well as fluoride compounds. Over 50% of the world's SO₂ emissions generated in the energy sector come from coal combustion. When it comes to NO_x emissions, the contribution of coal combustion makes up 20%. Countries with advanced coal based heat and power industries are the ones adding the most to the problem of global warming. Coal-fired power plants

have a well-known negative impact on the humankind and environment such as illnesses, deaths, human migration, extinction and migration of animals, and reduction of eco-friendly woodlands. Coal processing produces a lot of high-ash wastes known as filter cakes in Russia. The mass of these wastes totals tens of millions of tons [12]. The annual increment of such wastes is directly proportional to the growth of coal mining [13-14]. Large-scale recovery of rock fines, sludge, and coal processing wastes by burning them as part of fuel slurries is becoming increasingly relevant. Moreover, low-rank coals, which are extracted in large volumes, also need to be utilized effectively [15]. Combustible coal processing wastes are the most promising components for coal-water slurries with and without petrochemicals (CWS and CWSP) [14]. Using coal-water fuel improves the effectiveness of coal combustion, provides a way to recycle coal sludge and reduces harmful emissions into the atmosphere including nitrogen and sulfur oxides [16]. Using coal processing wastes as a basis for coal-water slurries eliminates the costs for fuel treatment (grinding) and reduces the penalties for environmental pollution with coal processing wastes. However, filter cakes have fewer carbon and volatile components than coals. These indicators of cakes are comparable to those of low-rank coals. As a result, filter cakes serve as low-reactive fuel components, making the ignition delay time of such fuels much longer [16]. For most filter cake types, the ignition lag is several times greater than that of coals. Similar conclusions can be made from the analysis of oil sludge heating and ignition patterns. One of the ways to accelerate the CWS and CWSP fuel ignition is adding flammable liquids, such as waste turbine, transformer, compressor, and engine oils as well as oil sludge [16]. Another promising approach consists in increasing the concentrations of highly reactive solid fuel components in CWS and CWSP fuels. Recent studies have determined the integral characteristics of the ignition and combustion of the most promising CWS and CWSP fuels based on various components, from low-rank coals to coal and oil processing wastes [14-16]. However, there is still a question about the typical differences in the consumption of coal and CWS/CWSP fuels generating the same amount of energy. Coal-water slurries are inferior to high-carbon fuels in the proportion of carbon. Their erratic ductility makes it necessary to use chemical additives and stifles their advancement. The choice of CWS and CWSP component composition is challenging due to a large number of varying parameters.

At a first approximation, we can use the methods from previous studies to explore these issues. The most rational choice seems to be a compound analysis of energy and economic indicators of switching from coal to CWS and CWSP fuels, taking into account anthropogenic emissions, ash residue, as well as fire and explosion safety. It is sensible to perform such an analysis for fuel compositions that differ greatly in cost, heating value, and environmental performance. This will facilitate the objective assessment and development of the current perceptions from [17-18] about the positive environmental future of coal-fired power industry if slurry fuels are used. Using composite fuels from coal processing wastes (filter cakes, sludge and their mixtures) has a great social, economic and international importance. First, it can help eliminate the huge amounts of the accumulated wastes. In many countries, industrial enterprises fail to implement the recycling of their wastes in practice. England, Norway and Italy alone bury 60–80% of waste in landfills. The United States, responsible for more than 30% of global waste (240 million tons), dump more than a half of it below the ground [20]. The situation is similar in Russia, China, India and other countries [19]. Second, involving waste in heat and power generation sector will expand the scope of energy industry raw materials in many regions of the world, save solid and liquid hydrocarbons and reduce the environmental load. Third, it will increase the fire and explosion safety of coal-burning energy providers, since flammable and fire-hazardous fuels (coal dust, gas or fuel oil) will be replaced by wet flotation waste, coal sludge and other types of waste as part of composite fuels with higher combustion temperatures. Thermal and electric energy in the world is mainly produced using fossil hydrocarbon fuels. More than 40% of the world's electrical energy is generated by coal-fired power plants. Prediction for worldwide electricity production indicates that coal consumption will increase proportional to an increase in electric power consumption. According to [21-22], an annual world consumption of coal is about 3.9 bln tons of oil equivalent with a predicted increase in production by 2030 of more than 14% [23]. An electric power is mainly generated at the large coal-fired power plants, which use a high-grade coal with a regulated value of heat power characteristics of an initial fuel: combustion heat, ash content, moisture content, etc. In the world, there is no mining with certain characteristics of coal (for the particular type of power equipment); thus, in most countries the coal is enriched, classified and sorted. For

example, in Australia and South Africa, all produced coal is enriched [24]. Due to various coal enrichment, regardless of technology, a high-ash (an ash content A_d of up to 50% or more) residue containing combustible components, which can be used for further processing or energy production at burning, is formed. These high-ash and high-moisture residue are, for example, filter cakes (often the term “cake” is used). There are several promising areas of processing such substances related to a conversion of combustible components of an organic matter. In particular, among these are a gasification, a preparation of coal-water and organic coal-water suspensions [25]. It is shown in [26] that waste of coal processing (“cake”) are the promising components for an industrial gasification at efficient energy supply. For the objects of small and medium power engineering (up to 40 MW) with minimizing the cost of thermal and electric energy production, the most promising direction is a development and use of coal-water fuels (CWF) and organic coal-water suspensions (OCWS) [27]. The doubtless advantages of using the water-containing fuel suspensions prepared with coal and its processing waste are as follows: a satisfactory environmental performance, reduced costs for preparation and transport of fuel, an ability of constructing the automated boilers. High environmental characteristics of CWF made of the filter cakes and low-grade coal can be expressed in several ways. On the one hand, while using CWF, the flue gases contain very low amount of sulfur oxides and nitrogen [27] as compared with pulverized coal combustion. On the other hand, a utilization of the filter cakes as fuel can effectively solve problems associated with their storage, processing and disposal. It should also be noted that the filter cakes by their parameters represent almost ready hydrocarbon fuel with an optimal size of solid particles (less than 200 μm) [28]. An apparent advantage of coal-water fuel is a possibility of its co-firing with different combustibles, in particular, of the oil origin. This trend about a creation of new fuel suspension compositions allows us to solve issues of improving an environmental situation as well as safe and cost-effective utilization of such materials with a production of heat and electric power. Carbon fuel combustion produces fly ash, sulfur and sulfuric anhydrides, nitrogen and sulfur oxides, as well as fluoride compounds. Biomass is considered to be a promising source of renewable energy for mitigating climate change. Biomass power plants as well as coal and biomass co-firing power plants could provide large scale reliable energy with the flexibility to meet

potentially unpredictable demand for electricity. Co-firing technology has to overcome some technical complications due to the differences in the fuel properties and behaviour in the combustion. Research is needed to improve the technology available in biomass renewable power to make progress in the development of more efficient and cleaner combustion. Detailed investigation of the ignition and combustion of the diversity of biomass materials is needed to establish any differences that may affect the design of burners and furnace performance when co-firing coal with biomass fuels. Different biomass fuels have been used for research and different types of pilot plants depending also on the wide range of physical and chemical properties of the fuel [29]. The standardization of biomass fuel in the form of high energy-density pellets allows easier management and more sustainable transport to all scales of consumers. This also facilitates reliable performance of the combustion with less variable ash content and calorific value of the fuel. This has been the key to the development of modern biomass boilers and biomass-fired combined heat and power (CHP) plants, especially small scale biomass heat and power. Certified quality pellets ensure low ash, sulphur and moisture content and a minimum energy density. However large scale power plants need to allow some flexibility in the fuel quality given the amount of fuel typically required. Fuel flexibility can also help to facilitate cost reduction. Single particle devices have been successfully used in previous studies to undertake comprehensive studies of coal combustion and have identified the differences between coals depending mainly on their rank. Lignite [30] and anthracite coals have been reported to burn as a one step process with the heterogeneous combustion of the particles, while bituminous coal shows a volatile flame prior to char combustion. The implementation of the techniques has provided more data including particle temperature [30] or particle aspect ratio during the combustion [31]. This work has pointed out differences in results obtained when single particle studies are compared to the combustion of fuels that are burnt in a drop tube furnace with different oxygen content. It was found that between the volatiles combustion and char ignition appears a gap time where there appears to be no progress in any combustion reaction in the lower oxygen content atmospheres. This effect was even more pronounced in the O₂/CO₂ atmospheres, producing a delay in the order of 10 ms for the conditions of the study. When compared to coal, biomass shows high contrast in key parameters, such as ignition

temperatures, ignition delay times, and burnout times. Single particle biomass combustion studies are not very common in the literature until recent years. Biomass fuels usually have higher volatile matter content than coals. The biomass pyrolysis also tends to start at lower temperatures than coal, creating earlier volatile release when co-firing that leads to lower ignition temperatures. The higher amount of volatiles in the combustion chamber also impacts on coal char combustion as the gases released will contribute to gasification reactions, enhancing the mass lost during the char formation and combustion. The combustion reactions are still the main conductor of the flame and burnout though. Flower conducted biomass single particles studies in a wire mesh single particle setup. Results for particles between 5 and 30 mg showed relatively low dependency on the aspect ratio of the samples. Modelling single particle combustion has also been effective in understanding the main variables that affect combustion kinetics. Other works by Lu et al. have studied the effect of the particle size and shape on the behaviour of the fuel. The particle size distribution and its influence on combustion performance is needed to establish the milling requirements for effective burning for each fuel, especially for new biomass fuels. Regarding the milling of the pellets it is usually assumed that the shape and size of the particles after milling the pellets is nearly the same as the original milled wood prior to pelletization. Milling of biomass fuels is inherently energy intensive and the optimization in terms of minimum particle size for efficient burn-out is still not fully established. Fuel particle distribution has been reported [32] to have a large significance in the power plant operation. For coal power plants the fuel needs to be milled to sizes below 300 μm with at least 80% below 75 μm . The fuel particles above 300 μm are likely to produce carbon in ash, as the combustion time needed for their total burnout is longer than the residence time. The objective of the present study was to observe the differences in the ignition and combustion behaviour for particles of fuels by measuring volatile burning time and char combustion time for each particle in order to compare times required for burnout. The study [32] examined a range of woody biomass particle sizes in order to establish which size would have the same burnout time as the maximum size of coal particles typically burned in utility boilers, i.e., 300 μm . The combustion test data can inform the milling requirement of the biomass for an efficient combustion in an industrial boiler. The information provided by the video observation can

also provide fundamental data for other researchers developing new models to more accurately describe the combustion process at a particle level.